

文章编号: 1001-1749(2022)05-0649-09

综合物探方法在陕西秦岭地区金矿勘查中的应用

长孙月雷, 张选朋, 朱海龙, 程博兴

(中陕核工业集团 二一四大队有限公司, 西安 710054)

摘要: 介绍了地面高精度磁法、激电中梯、激电测深和可控源音频大地电磁(CSAMT)等综合物探方法在金矿勘查区的应用研究。通过分析和研究工作区的地质特征(地层、岩性和构造等)和岩石物性特征(磁化率、电阻率和极化率)发现, 工作区矿化蚀变带矿化体相对围岩具有一定电性差异和磁性差异。因而在工作区垂直地质构造走向方向布设高精度磁法、激电中梯、激电测深和音频大地电磁(CSAMT)等多种方法物探剖面线。通过对获取的数据进行处理和解释得出, 地面高精度磁法和激电中梯等值线异常图(视电阻率和视极化率), 反映了工作区主要断裂构造和岩石物性的平面位置分布的和展布情况; 激电测深和 CSAMT 等值线异常图能够反映断裂构造和岩性在深度方向上的空间展布特征。多种物探方法的有效结合, 能大致反映出构造及矿体的深部展布特征, 同时也缩小了地质找矿的工作靶区, 为下一步地质钻探工作提供借鉴。

关键词: 断裂构造; 高精度磁测; 激电; 可控源音频大地电磁

中图分类号: P 631 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2022.05.14

0 引言

金矿作为一种重要的矿产资源, 不论是对于国民经济的发展, 还是对于满足人们日益增长生活的需要都意义重大。自上世纪 80 年代开始, 我国对于金矿勘查的研究工作就从未间断, 期间发展了许多地球物理方法, 对金矿的勘查和研究工作起了很大作用。

有关地球物理方法在金矿勘查中的应用, 前人做了大量研究。运用激电中梯和高精度磁测方法, 查明了工作区深部隐伏矿体的规模和延展情况^[1]。通过应用地面高精度间接找矿方法—磁法测量, 查明隐伏控矿岩体构造和含矿蚀变破碎带的分布情况, 证明了磁法测量在金矿勘查中的有效性^[2]。在

辽宁柏杖子金矿勘查阶段, 应用电阻率中梯测量、激电中梯和测深等物探方法和矿体低阻高极化的特征, 研究了测区异常与构造和岩性的关系^[3]。通过激电和大地电测方法, 对伊尔曼得金矿床进行了系统研究, 为该区的异常评价和深部找矿工作提供了一种有效方法^[4]。运用高精度磁法、电阻率中梯和高密度方法, 研究了东安大型低硫浅成低温热液型金矿床的规模、倾向和埋深, 指导了钻探施工^[5]。采用激电测深方法得到的电阻率和极化率剖面研究了沂南地区金矿的分布特征^[6]。采用 CSAMT 方法, 对西涝口地区 18 号矿脉的深部找矿进行了预测, 取得了一定进展^[7]。在黔西南贞丰地区采用综合地球物理方法的同时, 利用了相关仪器对钻孔岩芯电阻率、磁化率、剩余磁化强度和密度进行了精细测量,

收稿日期: 2021-08-27

基金项目: 陕西省地质勘查基金项目(612201203115)

第一作者: 长孙月雷(1988—), 男, 本科, 工程师, 主要从事地球物理研究工作, E-mail: 190416160@qq.com。

得到了围岩的物性特征^[8]。利用高精度磁法和音频大地电磁相结合方法,查明了矿区深部构造和矿体的空间位置,指导后期施工^[9]。结合勘查区地质、物探和化探等方法,圈定了异常,查明了含矿构造带的特征^[10]。通过激电测深方法获得的视电阻率和视极化率参数,研究了矿区异常的形态特征和空间展布,为后期勘探提供依据^[11]。主要介绍了重、磁、电、震和放射性等物探方法在金矿勘查中的研究现状和进展,并对未来金矿物探勘查方法提出了展望^[12]。通过分析岩石的物性特征—低阻高极化,选择适合的物探方法—瞬变电磁和激电法确定构造破碎带的空间形态和含矿性^[13]。利用电阻率和极化率测量,指示并发现了含金石英脉和与成矿有关的脉岩和断裂构造^[14]。在坦桑尼亚维多利亚湖的西南部区,利用航磁资料结合地面高精度磁测数据筛选靶区^[15]。利用时域激电法了解矿体在地下半空间的展布特征,指导钻探施工,取得了一定效果^[16]。结合前人研究,在充分了解工作区地质和岩石物性基础之上,为工作区物探施工方法选择建立了基础。

笔者根据研究区地质、地层、岩性、构造和岩石物性等资料,综合地面高精度磁测、激电中梯扫面和激电测深、CSAMT 等物探方法,对工作区金矿的平面分布位置、空间展布特征以及与断裂构造的伴生关系等进行了研究。

1 地质与地球物理概况

1.1 地质特征

研究区处于秦岭、松潘—甘孜褶皱带与扬子地台等构造交接处。在工作区西北部,存在阳平关大断裂,走向为北西—南东,毗邻秦岭造山带。在阳平关—勉县大断裂两端,分别为秦岭褶皱系摩天岭加里东褶皱带阳平关褶皱束(北部)和扬子准地台龙门大巴台缘隆褶皱带汉南—米仓台拱宁强褶皱束(南部)。

地层主要为碧口群(Pt_{2-3})和中下志留统(S_{1-2})地层。碧口群(Pt_{2-3})分布在阳平关—勉县断裂北西侧,主要为碧口群第二岩性段,岩性主要为石英长石砂岩、千枚岩夹火山岩,石英岩、石英砂岩、片状砾岩夹千枚岩、大理岩及酸性火山碎屑岩和中基型火山熔岩;出露厚度为 1 000 m~2 200 m,与古生代碎屑岩呈断层接触。该地层为区域内重要赋矿

地层。中下志留统(S_{1-2})主要分布在深大断裂以南的阳平关—范家山一带,出露厚度为 3 500 m~4 700 m;地层岩性有夹砂岩、灰岩、粉砂质板岩、硅质岩、绢云千枚岩等,其中,主要以粉砂质板岩和绢云千枚岩为主。

工作区构造属秦岭褶皱系摩天岭加里东褶皱带阳平关褶皱束(Ⅱ 62),秦岭褶皱系摩天岭加里东褶皱带文县—勉县褶皱束(Ⅱ 61)位于工作区北部;扬子准地台龙门—大巴台缘隆褶皱带宁强褶皱束(Ⅲ 11)位于工作区南部。褶皱构造主要位于北秦岭加里东褶皱带的东南部,北部被阳平关—勉县断裂与文县—勉县褶皱束分开(Ⅱ 61),东北部被新生界覆盖。工作区构造总体为一复向斜褶皱束,北翼走向为 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 左右,被断裂破坏,地层不完整且次级褶皱发育。阳平关—勉县断裂和宽川铺断裂是工作区主要断裂构造的分布区域。其中阳平关—勉县破碎带宽为 600 m~700 m,断裂倾向为北西(西南段)和南东(东北段),倾角为 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,断层性质为逆断层,使古生代碎屑岩与中上元古界碧口群火山岩呈断层接触,并且发育有许多旁侧剪性小断。宽川铺断裂为阳平关—勉县断裂的次级断裂,断层走向向北东方向发展,两侧发育有很多平行的小断裂(斜断裂和横断裂等),同时受横断裂或斜断裂所分割;宽川铺断裂倾向北西,倾角为 70° 左右,断层性质为逆断裂。研究区主要构造线延伸方向接近北东—南西向,断裂构造和次断裂构造极为发育。通过地质调查总结得知,工作区主要发育有北东—南西向、北西—南东向、北北西、北东东向、近南北向和近东西向等六种产状的断裂构造。由于断裂构造的存在和地层的沉积演化,造成区域部分地层缺失,工作区地层接触关系大多呈断裂接触。其中与金矿化密切的断裂构造为北东东向断裂。车渡地段,以阳平关断裂为界,南为中下志留统千枚岩及砂质板岩,北为碧口群绿泥片岩、灰岩、变凝灰岩和强硅化构造蚀变岩,矿体主要赋存于强硅化构造蚀变岩中,局部强硅化蚀变岩处于隐伏状态。阳平关断裂附近其次级构造发育。工作区内未发现岩浆岩出露,区内蚀变普遍发育,主要有黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、绿帘石化、阳起石化、毒砂化、粘土化及硅化等。与金矿化有关的蚀变为毒砂化、黄铁矿化、硅化及碳酸盐化。图 1 为研究区区域交通位置图。

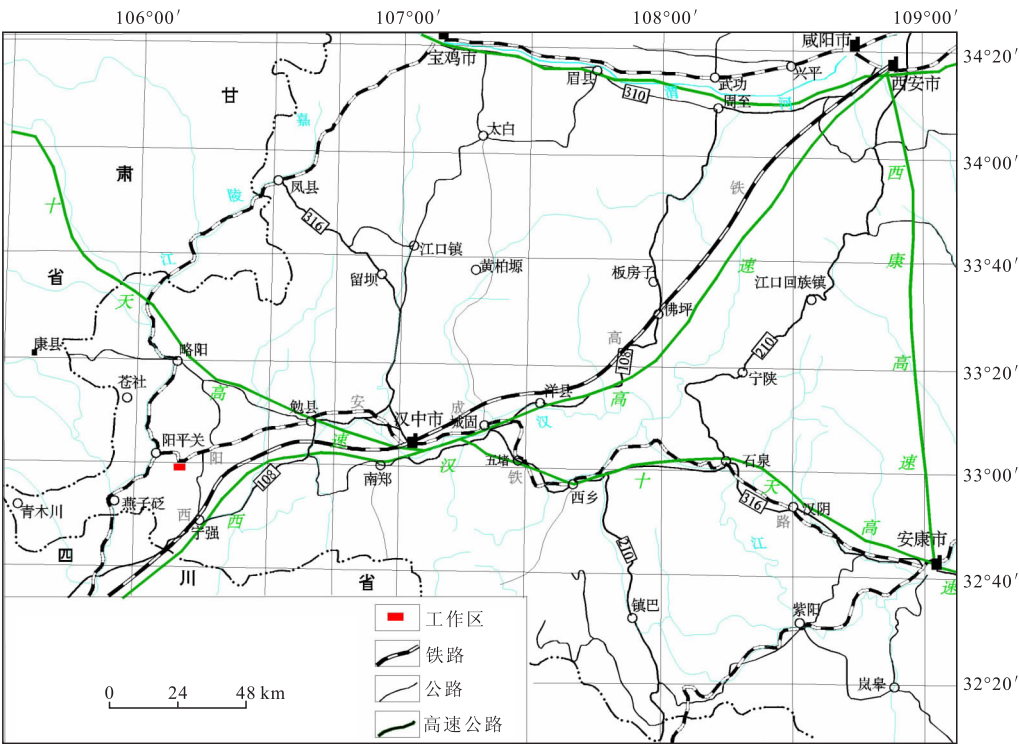


图1 研究区区域交通位置图
Fig.1 Location map of the survey

1.2 地球物理特征

1.2.1 磁性特征

根据工作区地质资料,区内存在较大的断裂构造,这些断裂构造可能伴有岩浆侵入热液活动和断裂破碎带的存在,岩浆侵入和断裂破碎的存在,岩石磁性也会变化,也会有一定磁异常反映,地面高精度磁测可以观测到这个磁异常。工作区北西部地层主要为碧口群(Pt₂₋₃),分布在阳平关—勉县断裂北西侧,主要为碧口群第二岩性段,岩性主要为石英砂岩、石英长石砂岩、千枚岩夹火山岩、中基性火山熔岩、片状砾岩夹千枚岩、石英岩和酸性火山碎屑岩,分析收集区内岩石的磁性参数资料表明:这类岩石具有较高的磁化率、剩余磁化强度。工作区南东部地层为中下志留统(S₁₋₂),主要分布在阳平关深大断裂以南,岩性主要以绢云千枚岩和粉砂质板岩为主,同时还夹有灰岩、砂岩、硅质岩、砂砾等变质沉积岩,分析收集区内岩石的磁性参数资料表明:这类岩石具有较低的磁化率、剩余磁化强度。中下志留统(S₁₋₂)与碧口群(Pt₂₋₃)呈断层接触关系。

现有工作区地质成果表明,靠近阳平关大断裂

的 AuⅧ号金矿化带中的金矿石为磁铁石英岩,与围岩相比有较强的磁性,且磁性差异比较大,AuⅧ号金矿化带中金矿体与围岩相比,磁异常更大。结合以上情况可知,研究区蚀变带经矿化后,矿化体相对围岩具有一定磁性差异,可以应用磁法手段查明断裂构造平面展布,查明具有磁性的地表及深部矿体的延伸变化情况,工作区具备开展磁法测量的地球物理条件(表1)。

表1 工作区磁性参数测量结果
Tab.1 Results of magnetic parameters in the survey

岩样	测定块数	磁化率/×10 ⁻³ SI		
		最高	最低	平均
绿泥片岩	30	2.31	0.98	1.47
火山凝灰岩	44	2.74	0.45	1.42
磁铁石英岩	40	988.7	1.52	257.33
灰岩	30	0.31	0.03	0.13
千枚岩	31	1.55	0.43	0.83

表 2 工作区电性参数测量结果

Tab. 2 Results of electrical parameters in the survey

岩样	测定块数	电阻率 $\rho/\Omega \cdot \text{m}$			极化率 $\eta/\%$		
		最高	最低	平均	最高	最低	平均
绿泥片岩	30	415.9	52.8	155.6	4.6	1.7	2.53
火山凝灰岩	30	1456	216	460.4	3	0.8	1.49
磁铁石英岩	30	9125	3561	5757.63	71	3.68	40.16
灰岩	30	9725	1095	5080	9.6	2.17	4.33
千枚岩	30	692	115	294	3.8	0.5	1.83

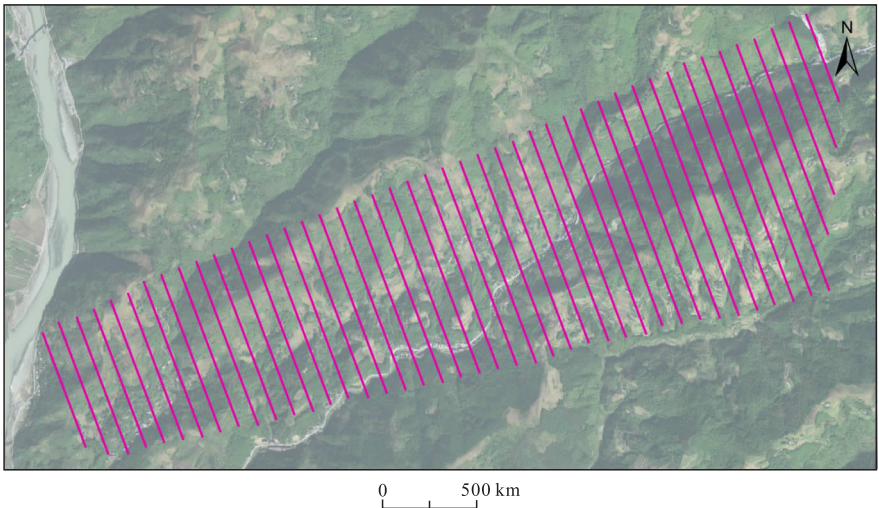


图 2 研究区物探工作布线图

Fig. 2 Wiring diagram of geophysical prospecting work in the study area

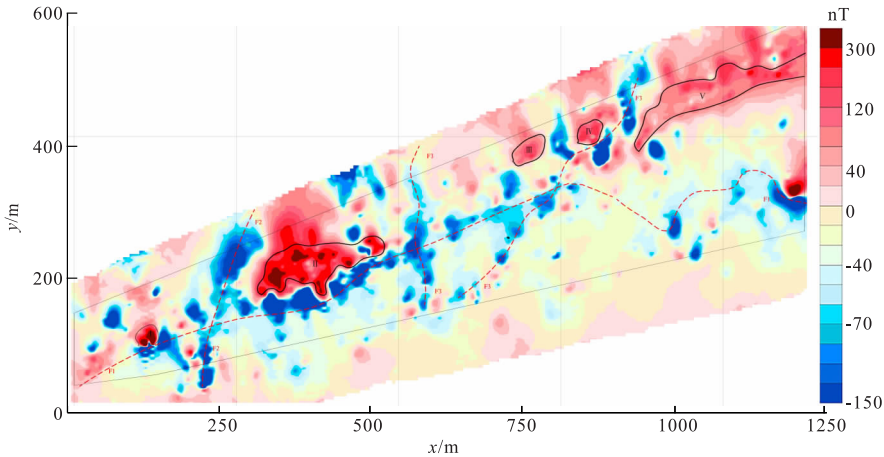


图 3 推断构造及磁异常图

Fig. 3 Inferred structure and magnetic anomaly map

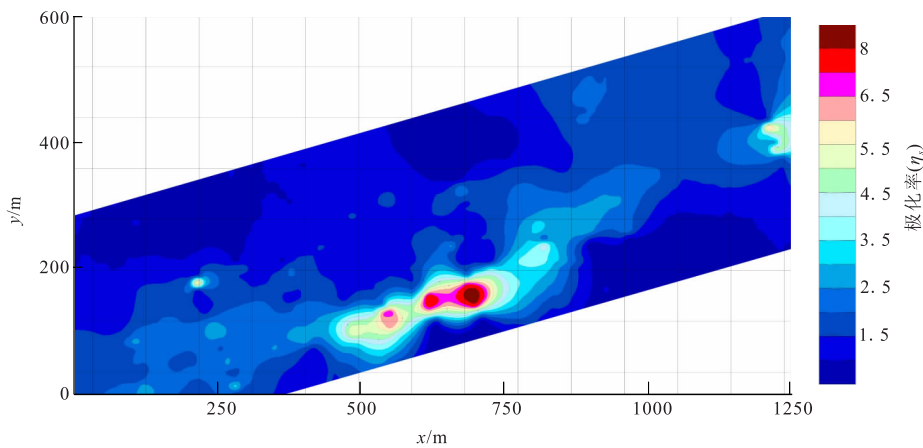


图 4 视极化率等值线图

Fig. 4 The contour map of apparent polarization

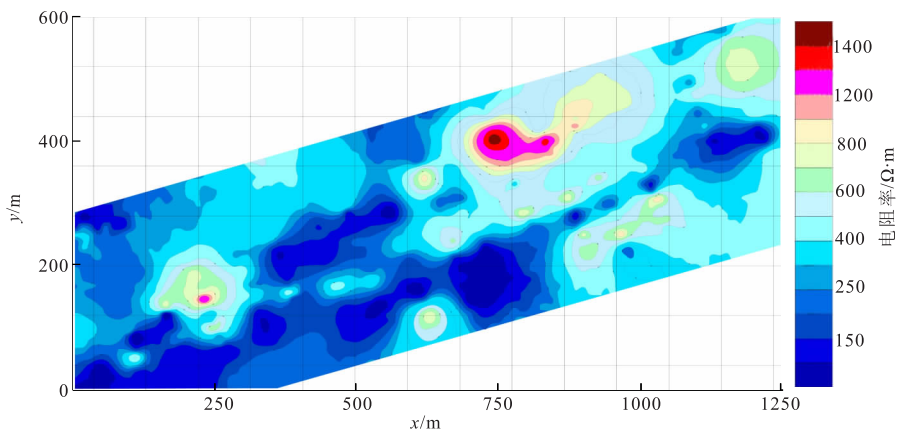


图 5 视电阻率等值线图

Fig. 5 The contour map of apparent resistivity

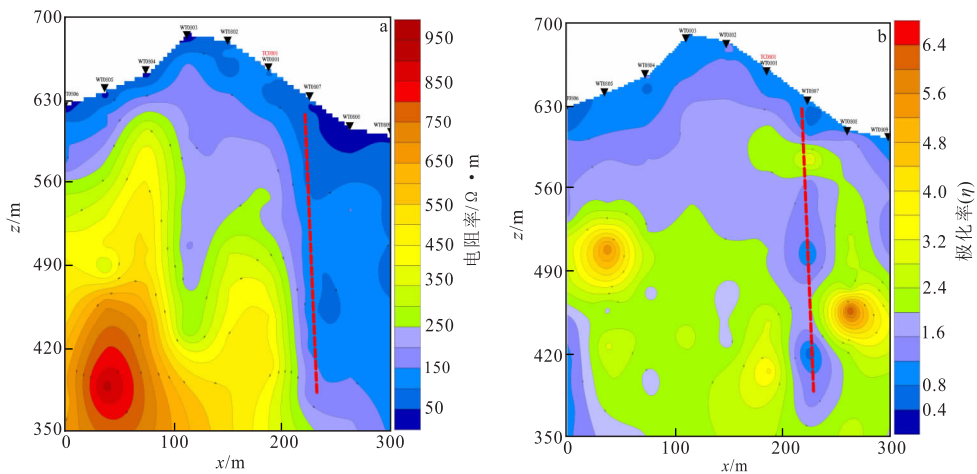


图 6 激电测深等值线图

Fig. 6 The contour map of Induced polarization sounding

(a) 视电阻率; (b) 视极化率

1.2.2 电性特征

为了了解工作区岩矿石的电性特征,通过收集和测定同类岩矿石的电性参数,得到工作区岩矿石电性参数的统计分析结果(表2)。由表2可知,研究区地层岩石电性特征存在一定的差异,火山凝灰岩电阻率特征表现为中阻,极化率特征表现为低极化,主要分布在大断裂以北碧口群中;绿泥片岩电阻率特征表现为低阻,极化率特征表现为低极化;灰岩电阻率特征表现为高阻,极化率特征表现为低极化,主要分布在大断裂以南志留系地层中;千枚岩电性特征表现为低阻低极化。表2说明工作区地层岩性存在一定的电性差异,可以根据岩石的电阻率和极化率特征将一定硅化蚀变带异常圈定出来。加之工作区断裂构造发育,且规模较大,断裂构造的存在为热液活动和成矿金属元素的富集提供了条件。

结合上述情况可知,研究区中,经矿化蚀变的矿体相对围岩具有一定电性差异,可以应用电法、电磁法手段探查地表及深部矿体的延伸变化情况,工作区具备开展激电方法、可控源音频大地电磁法的地球物理条件。

2 工作方法技术

根据工作区地质与地球物理特征以及实际情况,由于工作区矿化蚀变带矿化体相对围岩具有一定电性差异和磁性差异,因此在工作区开展金矿勘查时采用地面高精度磁法、激电中梯、激电测深和可控源音频大地电磁相结合的综合物探方法,尽可能减少物探方法本身的多解性,缩小地质找矿的工作靶区。布设测线时,测线方向尽可能垂直地层及构造走向,本次研究工作中,共布设磁法测线60条,线距为80 m,点距为20 m;激电中梯剖面测量17条,点距为20 m;激电测深剖面5条,点距在20 m~40 m之间,激电测深物理点40个;可控源音频大地电磁剖面5条,物理点120个,点距为20 m~40 m,测线布设为方向为340°。地面高精度磁测、激电中梯、激电测深、可控源音频大地电磁剖面与勘探线编号一致,测点由南至北由小到大编号(图2)。技术标准执行物勘电磁法相关规程的基本要求。

3 数据处理与解释

3.1 工作区磁异常分布

野外原始数据经日变改正、正常场、正常梯度及

高度改正以及化极处理后,输出工区磁异常等值线图(图3)。由图3可知,工作区磁场总体具有北高南低的基本特征,东北部磁场最强且变化范围最大。磁场概略可划分为三个区域,其中,强异常磁区位于工作区北中部,强磁异常区与铁磁性矿产关系较为密切,约占工作区面积的15%。磁场等值线走向呈北东向,局部近东西向;正磁异常幅值达1 500 nT以上,负磁异常幅值达-150 nT以下,变化范围达1 600 nT以上;该区域最强的正磁异常预示铁磁性物质丰富,是工作区探测具有磁性的金矿体的最有利区域。弱磁异常区位于工作区北部,约占工作区面积的40%;磁场等值线走向呈北东向,最高磁异常幅值为300 nT,最低磁异常为-100 nT,最大变化为400 nT;该区域的正磁异常幅值部位是工作区探测具有磁性的金矿体的相对有利区域。磁场平稳区位于工作区南部,约占测区面积的40%;磁场等值线总体呈北东-南西展布;最高磁异常幅值为100 nT,最低磁异常为-50 nT,变化约150 nT;该区域磁场平稳,无明显磁异常。

3.2 工作区激电异常分布

野外采集得视电阻率(ρ_s)和视极化率(η_s)两个主要电性参数,对实测数据进行电磁干扰剔除、圆滑滤波等常规处理。激电中梯测量工作主要布置在三道河至滴水寺一带,剖面总长为10 km,剖面方向为340°,与该地区已知矿化体走向垂直。通过视极化率(η_s)和视电阻率(ρ_s)两个电性参数测量结果进行编辑处理,绘制了激电中梯剖面测量(ρ_s 、 η_s)剖面平面图,激电中梯剖面测量(ρ_s 、 η_s)等值线图,并进行异常划分。

从图4可知,极化率异常值总体呈南北部低,中间少部分区域高,而中间高的异常主要集中在中部。从异常走向看,视极化率异常呈北东-南西走向。从局部高极化率异常的空间分布来看,则主要分布在阳平关大断裂破碎带及近侧地段,局部地段异常较高。工作区北西部碧口群(Pt₂₋₃)层的极化率略高于南东部中下志留统(S₁₋₂)地层极化率,以等值线3.5%划分的工作区南、北极化率低值区基本与工作区北西部碧口群(Pt₂₋₃)地层、南东部中下志留统(S₁₋₂)地层出露区吻合。以上分布特征表明,该区视极化率异常反映了地层、构造特征。相对视极化率异常而言,视电阻率异常的平面分布规律性较好,由图5可以看出,电阻率异常值总体呈南北部高,中间低、南北高的异常主要集中在北东部、南东部。从电阻率异常等值线走向看,中间的低电阻率

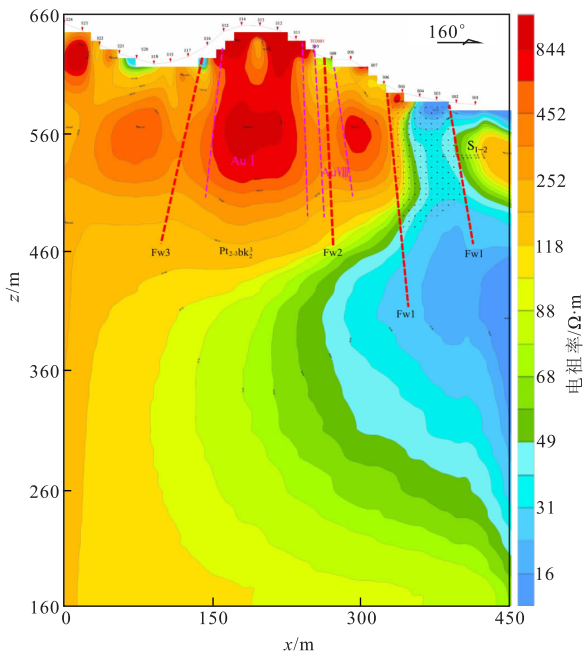


图7 可控源音频大地电磁测深电阻率等值线图
Fig. 7 The contour map of CSAMT

异常呈北东—南西走向,呈带状分布在阳平关大断裂破碎带及近侧地段,工作区西北部碧口群(Pt_{2-3})地层、南东部中下志留统(S_{1-2})地层电阻率较高,北部局部地段较高电阻率异常可能与地层硅化有关。以上分布特征表明,该区视电阻率异常反映了地层、构造、硅化蚀变特征。

3.3 工作区电测深数据处理与解释

根据工作区地质成果资料,在磁异常和激电中梯异常区域布置激电测深和可控源音频大地电磁测深剖面。通过对测深数据资料的进一步整理分析,对异常的性质和找矿意义进行了进一步的研究和评价,以工区08号剖面为例,其测线方位角为 160° 。

图6表明,从地表到地下延伸方向电阻率、视极化率总体呈由小变大的趋势;在测深点807位置,两侧视电阻率梯度变化较大,综合地质特征,推测测深点807以下为阳平关大断裂Fw1,该断裂倾向为 160° 、倾角约 $80^\circ\sim 85^\circ$ 。在其北部为电阻率相对较高,局部中高极化的碧口群地层;南部电阻率相对较低,局部高极化的阳平关断裂破碎带;测深点801与测深点802之间,推测为车渡AuⅧ金矿化蚀变带,其电性特征表现为中高阻中极化,局部高极化,蚀变带倾向为 160° 倾角约 $65^\circ\sim 70^\circ$;测深点803与测深点804之间,推测为车渡地段AuⅠ矿化蚀变带,其电性特征表现为中高阻中极化,局部高极化,蚀变带倾向 160° ,倾角约 $68^\circ\sim 75^\circ$ 。从71和79线对比结

果来看,受构造的影响,矿体表现为低阻低极化的特征。在测深点0801与测深点0802之间表现为向下延深的低阻异常带,推测推测为金矿化蚀变带引起,向北倾。

08号剖面全长约460 m,测深点24个,测深点间距20 m,剖面线方位角为 160° 。

由图7可以看出,在测深点0802与测深点0806之间,电阻率等值线水平向不连续转折变化,出现向下延深的低阻异常带,推测为北东向Fw1断裂从这里通过引起,断裂在这里断距较大;测深点0809与测深点0810、测深点0816与测深点0817之间电阻率等值线水平向不连续转折变化,推测为2条北东向次级断裂Fw2、Fw3从这里通过引起,Fw1南倾,倾角约 85° ;Fw2近乎 90° 直立,Fw3断层面北倾,倾角约 80° 。在测深点0809与测深点0810之间表现为向下延深的低阻异常带,推测AuⅧ金矿化蚀变带引起;测深点0811与测深点0815之间,表现为向下延深的高阻异常带,推测AuⅠ金矿化蚀变带引起。

4 结论

1)在工作区开展地面高精度磁测、激电中梯、激电测深及可控源音频大地电磁测深多种物探方法,查明了工作区主要断裂构造、强硅化构造蚀带平面展布规模及空间形态变化情况,综合工作区地质资料,预测出金矿成矿有利地段,为下一步工作部署奠定了基础。

2)在工作区开展多种方法相结合的综合综合物探技术,对于解决地球物理本身的多解性和缩小金矿勘查范围,为地质钻探提供精确的钻探井位置都有很大好处。

3)地面高精度磁测和激电中梯解决了大范围的异常扫面工作,能够反映地下异常体的横向展布特征;激电测深和可控源音频大地电磁方法对于解决异常体纵向埋深和延展情况作用甚大。

参考文献:

- [1] 郑翻身,徐国权,冯贞,等. 内蒙古中部绿岩型金矿地球化学及地球物理勘查—以新地沟和卯独庆地区为例[J]. 矿床地质,2005(04):422—436.
- ZHENG F S, XU G Q, FENG Z, et al. Geochemical and geophysical exploration of greenstone—type gold deposits in central inner Mongolia—taking Xindigou

- and Maoduoqing areas as examples [J]. Mineral Deposits, 2005(04):422—436. (In Chinese)
- [2] 吴国学. 金矿勘查中的地面高精度磁法测量—以黑龙江乌拉嘎金矿外围十三公里勘查区为例[J]. 地球物理学进展, 2007(05):1637—1641.
WU G X. Ground—based high—precision magnetic measurement in gold mine exploration—taking the 13 km exploration area outside the Wulaga gold mine in Heilongjiang as an example [J]. Progress in Geophysics, 2007(05): 1637—1641. (In Chinese)
- [3] 李祥才, 张志伟, 敖颖锋, 等. 激电法在辽宁柏杖子金矿勘查中的作用及意义[J]. 地质与勘探, 2009, 45(02): 74—79.
LI X C, ZHANG Z W, AO Y F, et al. The role and significance of induced polarization method in Liaoning Baizhangzi gold exploration in [J]. Geology and Exploration, 2009, 45 (02): 74—79. (In Chinese)
- [4] 钟伟, 武广, 敬荣中, 等. 综合地球物理勘查方法在西天山伊尔曼得金矿的应用[J]. 矿床地质, 2010, 29(S1): 671—672.
ZHONG W, WU G, JING R Z, et al. Application of comprehensive geophysical exploration method in Yiermande gold mine in west Tianshan [J]. Deposit Geology, 2010, 29(S1): 671—672. (In Chinese)
- [5] 刘伟, 余友, 张秀鸿. 黑龙江省东安金矿地球物理勘查应用效果[J]. 地质与勘探, 2010, 46(04): 657—663.
LIU W, YU Y, ZHANG X H. Dongan gold geophysical exploration application results in Heilongjiang province [J]. Geology and Prospecting, 2010, 46(04): 657—663. (In Chinese)
- [6] 杜利明, 武军杰, 杨金夺, 等. 梯度电测深方法在沂南金矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2013, 37(02): 225—228.
DU L M, WU J J, YANG J D, et al. The application of gradient electrical sounding method in Yinan gold mine exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(02): 225—228. (In Chinese)
- [7] 刘金友, 丁宪华, 刘淑亮, 等. CSAMT 法在西涝口金矿勘查中的应用[J]. 黄金科学技术, 2013, 21(03): 16—20.
LIU J Y, DING X H, LIU S L, et al. Application of CSAMT method in Xilaokou gold mine exploration [J]. Gold Science Academic, 2013, 21(03): 16—20. (In Chinese)
- [8] 文武, 高玉文, 刘洪臣, 等. 黔西南贞丰背斜卡林型金矿的综合地球物理勘查—钻孔岩芯物性研究[J]. 黄金科学技术, 2013, 21(02): 1—7.
WEN W, GAO Y W, LIU H C, et al. Comprehensive geophysical exploration in southwest Guizhou Zhenfeng anticline Carlin—type gold deposits — study the physical properties of drill core [J]. Gold Science and Technology, 2013, 21 (02): 1—7. (In Chinese)
- [9] 杨剑, 王绪本, 王永华, 等. 电、磁综合方法在云南北衙铁金矿勘查中的应用[J]. 中国地质, 2014, 41(02): 602—610.
YANG J, WANG X B, WANG Y H, et al. Application of integrated electric and magnetic methods in the exploration of Yunnan Beiya Iron and Gold Mine [J]. Chinese Geology, 2014, 41(02): 602—610. (In Chinese)
- [10] 姚铁, 周勇, 杜展军, 等. 地、物、化综合方法在博故图金矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2015, 39(05): 877—884.
YAO T, ZHOU Y, DU Z J, et al. The application of the comprehensive method of geology, material and chemical in the exploration of Bogutu gold deposit [J]. Physical and Geochemical Exploration, 2015, 39(05): 877—884. (In Chinese)
- [11] 韩琼, 弓小平, 田红彪. 激电测量在苏吉泉东金矿勘查中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2016, 31(01): 108—115.
HAN Q, GONG X P, TIAN H B. The application of IP survey in the exploration of Sujiquandong gold deposit [J]. Collection of Geological Prospecting, 2016, 31 (01): 108—115. (In Chinese)
- [12] 王志辉, 吕庆田, 严加永. 金矿地球物理勘查方法综述[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(02): 805—813.
WANG Z H, LV Q T, YAN J Y. Summary of geophysical prospecting method of gold [J]. Progress in Geophysics, 2016, 31 (02): 805—813. (In Chinese)
- [13] 李本茂, 计克华, 普加忠, 等. 综合物探方法在云南某金矿勘查中的应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(S2): 141—146.
LI B M, JI K H, PU J Z, et al. The application of comprehensive geophysical methods in the exploration of a gold mine in Yunnan [J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2017, 39(S2): 141—146. (In Chinese)
- [14] 张晓东, 方捷, 张定源, 等. 激发极化法在东溪金矿接替资源勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2017, 41(03): 445—451.
ZHANG X D, FANG J, ZHANG D Y, et al. The appli-

cation of IP in the prospecting of replacement resources in Dongxi gold mine[J]. Physical and Geochemical Exploration, 2017, 41(03): 445—451. (In Chinese)

[15] 李水平, 袁杨森, 程华, 等. 坦桑尼亚西嘎山一带铁建造型金矿床航磁异常特征及找矿意义[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(03): 1051—1058.

LI S P, YUAN Y S, CHENG H, et al. The characteristics of aeromagnetic anomalies and prospecting significance of iron—built gold deposits in Xigashan, Tanzania[J]. Progress in Geophysics, 2018, 33(03): 1051—1058. (In Chinese)

[16] 李水平, 司建涛, 程华, 等. 时间域激电测深在坦桑尼亚金矿床勘查中的应用例析[J/OL]. 地球物理学进展: 1—14[2019—03—25].

LI S P, SI J H, CHENG H, et al. Application example analysis of time domain IP sounding in Tanzania gold deposit exploration[J/OL]. Progress in Geophysics: 1—14[2019—03—25]. (In Chinese)

The applied research of integrated geophysical methods for the exploration of gold mine in the Qinling area of Shanxi province

ZHANGSUN Yuelei, ZHANG Xuanpeng, ZHU Hailong, CHEN Boxing
(China Shaanxi Nuclear Industry Group 214 Brigade Co. , Ltd, Xi'an 710054, China)

Abstract: This article mainly introduces the applied research of integrated geophysical methods such as ground high—precision magnetic method, IP ladder, IP sounding and CSAMT in gold exploration area. By analyzing and studying the geological characteristics (stratigraphy, lithology and structure, etc.) and the petrophysical characteristics (magnetic susceptibility, resistivity and polarizability) of the survey, it is find that there is some electrical and magnetic differences between the mineralized alteration zone and surrounding rock in the survey. Therefore, a variety of methods such as high—precision magnetic method, IP ladder, IP sounding and audio magnetotelluric (CSAMT) are applied in this survey with the line in the direction of the vertical geological structure. By processing and interpreting the acquired data, the ground high—precision magnetic and the contour map of IP ladder (apparent resistivity and apparent polarizability) reflect distribution characteristics of the main fault structure and rock physical properties. IP sounding (apparent resistivity and apparent polarizability) and CSAMT contour anomalous maps can reflect the spatial distribution characteristics of fault structures and lithology in the depth. The combination of various geophysical methods reflects the three—dimensional distribution characteristics of metallogenic anomalies. At the same time, it also narrows the working target area of geological prospecting and provides a basis for the next geological drilling work.

Keywords: fracture structure; high—precision magnetic survey; IP; CSAMT